

Министерство образования РФ
Уральский государственный лесотехнический университет
Кафедра ТиДС

Пыхтеева Н.Ф., Костомаров Н.Е.

Методические указания к лабораторным работам
по аэрофотограмметрии для студентов специальности 291000

Екатеринбург, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Аэрогеодезия – это наука об измерениях и преобразованиях аэрофотоснимков (АФСн) земной поверхности для составления топографических карт и планов.

Аэрогеодезия изучает те же вопросы, что и геодезия, но используют для этого аэрофотосъемочное изображение земной поверхности.

Предмет Аэрогеодезия содержит описание комплекса процессов, имеющих целью получение АФСн земной поверхности, их оценку, преобразование в фотопланы, топокарты, профили местности.

Составной частью курса Аэрогеодезия является фотограмметрия - наука, изучающая способы определения формы, размеров и пространственного положения различных объектов путем измерения их фотографических изображений.

Если для получения характеристик сфотографированного объекта используются свойства одиночного снимка, то такой метод измерений называют фотограмметрическим. Если же измерения основаны на свойствах пары перекрывающихся снимков одного и того же объекта, полученных из двух различных точек пространства, то такой метод измерений называют стереофотограмметрическим.

В зависимости от того, каким образом получены фотоснимки изучаемого объекта, различают наземную, аэро- и космическую фотограмметрию.

Настоящие методические указания предназначены для студентов в процессе выполнения лабораторных работ по аэрофотограмметрии, которая разрабатывает методы обработки аэрофотоснимков земной поверхности, полученных с летательных аппаратов в приземном слое атмосферы.

Цель работ - закрепить теоретические основы, привить практические навыки применения материалов аэрофотосъемки при решении инженерных задач в процессе изысканий и строительства автомобильных дорог.

В рамках рабочей программы курса "Аэрогеодезия" ставятся задачи:

- уяснить возможности использования АФСн, фотодокументов и аэрофототопографических методов для топогеодезического обеспечения изысканий автомобильных дорог;
- применить полученные знания при изучении специальных дисциплин и в дипломном проектировании.

Специалисты по строительству автодорог получают, как правило, готовые фотодокументы, на которых можно производить те же измерения, что и на топокартах. Однако результатом изучения аэрогеодезии должно быть уяснение, что аэрофотогеодезические измерения и съемки успешно заменяют соответствующие наземные работы.

Занятия заключаются в индивидуальном выполнении заданий, последовательно связанных между собой по принципу постепенного усложнения учебного материала. Работы выполняются только в специализированной аудитории при бережном отношении к аэрофотоснимкам и приборам, используемых на занятиях.

1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ТРЕБОВАНИЯ К АЭРОСЪЕМКЕ

Таблица 1

Основные летно-технические характеристики летательных аппаратов для АФС

Характеристика	Самолеты				Вертолеты	
	Як-12А Ан-14	Ан-2	Ил-14	Ан-30	МИ-4	Ка26
Предельная высота полета для АФС, м	4000	4500	5600	8000	5000	4000
Средняя крейсерская скорость, км/ч	150	170	300	400	140	140
Продолжительность полета, ч	6	7	8	8	5	4

Таблица 2

Основные характеристики аэрофотоаппаратов (АФА)

Характеристика АФА	Тип АФА	
	Топографические АФА	Нетопографические АФА
Фокусное расстояние, мм	20-500	100-1000
Размер снимков, см	18x18	18x18, 30x30
Ширина маршрута в долях высоты полета, 1/Н	0,4-5,0	0,4-1,5

По величине фокусного расстояния объектива АФА условно делятся на:

- короткофокусные - менее 150 мм;
- среднефокусные - 150-300 мм;
- длиннофокусные - более 300 мм.

В кассете АФА обычно 60 м пленки.

Аэрофотоустановка (АФУ) позволяет производить автоматическое горизонтирование и ориентирование камеры АФА в пространстве.

АФА снабжен прибором для автоматического фотографирования поверхности земли через определенные интервалы времени и контроля за работой отдельных узлов аппарата.

АФА оборудован секундомером, уровнемером, радиовысотомером, счетчиком снимков, показания которых фиксируются на пленке.

Время производства одного снимка составляет до 0,2 с. Интервал между снимками может устанавливаться от 2 до 100 с.

Радиовысотомер позволяет определять высоту фотографирования с точностью ± 3 . Дополнительное высотоизмерительное устройство - статоскоп (барометр) - при высоте полета более 1000 м позволяет определять превышения между точками земной поверхности с точностью $\pm 1,0-1,5$ м.

Основные материалы АФС:

- аэронегативы (аэрофильмы);
- аэрофотоснимки (АФСн);

- накидные монтажи и их репродукции;
- фотосхемы;
- фотопланы.

Для удобства работы с АФСн и их учета каждый негатив имеет метки, располагающиеся в северо-восточном углу АФСн, например: X-7898 - шифр маршрута; 19 VHI/15 99 - дата съемки, 197 - порядковый номер снимка.

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОФОТОСНИМКОВ

С геометрической точки зрения АФСн представляет собой центральную проекцию (рис. 1)

$AB(A^1B^1)$ - горизонтальное проложение линии на местности;

$ab(a^1b^1)$ - длина изображения этой линии на АФСн;

$S(S^1)$ - центр проектирования, фокус АФА, оптический центр его объектива, узловая точка;

$O(O^1)$ - главная точка АФСн, основание перпендикуляра, опущенного из центра проектирования на плоскость АФСн;

$SO(S^1O^1)$ - оптическая ось АФА, линия, соединяющая главную точку АФСн с оптическим центром объектива;

$f(f^1)$ - фокусное расстояние АФА, расстояние по оптической оси от центра линзы объектива до фокальной плоскости фотокамеры;

H - высота фотографирования, расстояние вдоль оптической оси АФА от объектива до средней плоскости фотографируемого участка земной поверхности.

Анализ геометрических свойств АФСн заключается в определении смещений точек на АФСн вследствие его наклона и рельефа местности. Чтобы АФСн преобразовать в карту или план, необходимо определить элементы внутреннего и внешнего ориентирования, т.е. знать положение АФСн в момент фотографирования. Это позволит восстановить связку лучей, существовавшую при съемке, и задать ей требуемое преобразование (рис.2).

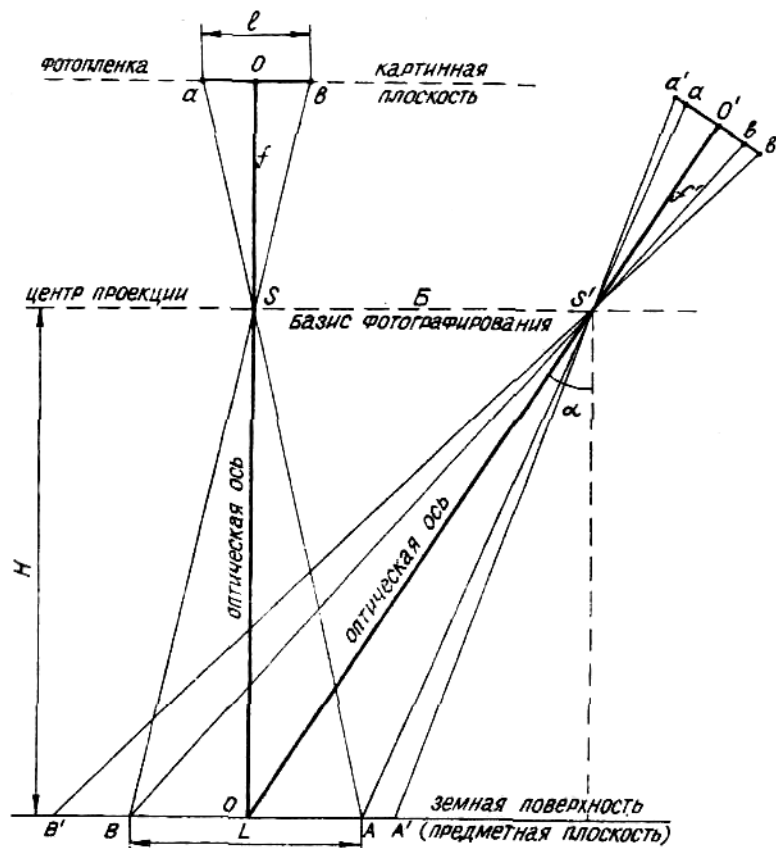
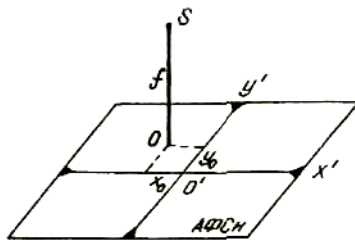


Рис. 1

а)



б)

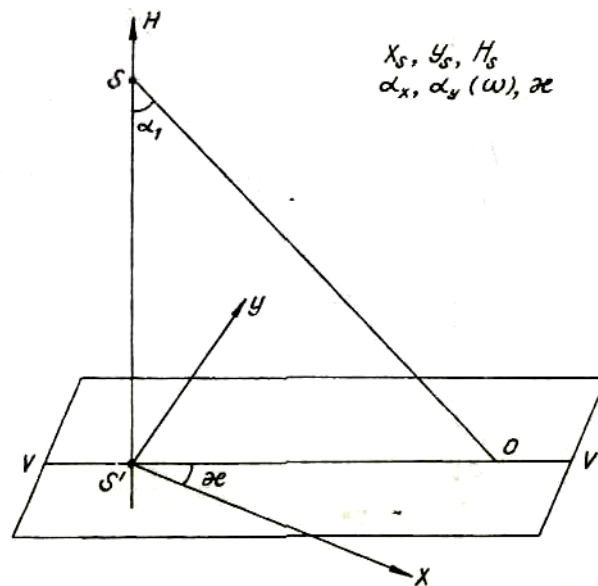


Рис. 2

Элементы внутреннего ориентирования - это величины, определяющие положение центра проектирования S относительно АФСн. К ним относятся:

f - фокусное расстояние АФА;

X_0, Y_0 - координаты главной точки АФСн.

Координаты X_0 и Y_0 определяются в плоской прямоугольной системе координат, фиксируемой в плоскости прикладной рамки АФА четырьмя координатными метками. Главная точка "о" АФСн находится на пересечении линий, проведенных через эти координатные метки, либо вблизи от их пересечения.

Элементы внешнего ориентирования определяют положение центра проектирования S относительно геодезической системы координат местности. К ним относятся:

X_s, Y_s, H_s - координаты центра проектирования;

α - угол продольного наклона АФСн;

β - угол поперечного наклона АФСн;

χ - угол поворота АФСн.

В физическом анализе АФСн принято считать, что при отклонении оптической оси S_0 АФА от вертикали на угол α менее 3° получают горизонтальные, плановые снимки, которые используют для целей картографирования, а при угле α более 3° получают перспективные снимки. Плановые и гидростабилизированные снимки равнинной местности можно считать горизонтальными, а фотоизображение местности - планом. Такое допущение позволяет решать по АФСн ряд практических задач.

Цель задания - освоить элементы АФС и их расчеты перед АФС территории земной поверхности.

Расчет задания на АФС производится для всей, подлежащей съемке, территории отдельно по листам топографической карты масштаба 1:10 000 - 1:25 000.

Необходимо рассчитать:

1. Абсолютную высоту средней плоскости участка аэрофотосъемки (A_{cp}), абсолютную высоту линии полета ($A_{л.п}$), среднюю высоту фотографирования (H_{cp}) над средней плоскостью участка съемки и максимальное колебание рельефа (h_{max} над средней плоскостью участка).

2. Перекрытие аэрофотоснимков (АФСн):

- продольное P_x в %, a_x в мм;

- поперечное P_y в %, a_y в мм.

3. Базисы фотографирования v_x и v_y в масштабе аэроснимка и на местности V_x и V_y .

4. Количество маршрутов (n_m).

5. Количество АФСн в маршруте (n), общее число АФСн на снимаемом участке (N) и общий расход фотопленки ($L_{пл}$).

6. Площадь земной поверхности, покрываемую одним снимком (S).

7. Максимально допустимое время экспозиции ($t_{э}$), интервал времени между экспозициями (t), общее время для АФС (T).

Исходные данные:

$L_x = 50$ км, длина маршрута, т.е. длина фотографируемого участка;

$L_y = 30$ км, ширина этого участка;

$I : m = 1:10000$, масштаб съемки;

$f = 100$ мм, фокусное расстояние АФА;

$l \times l = 30 \times 30$ см, формат аэрофотоснимка;

$U = 150$ км/ч, скорость полета;

$\delta = 0,1$ мм, допустимый линейный сдвиг фотоизображения;

$P_x = 60\%$, продольное перекрытие АФСн;

$P_y = 30\%$, поперечное перекрытие АФСн;

$A_{max} = 220$ м, максимальная абсолютная высота земной поверхности;

$A_{min} = 180$ м, минимальная абсолютная высота земной поверхности.

Решение:

3.1. Максимальную и минимальную высоты точек земной поверхности на снимаемом участке определяют по топографической карте (в нашем задании $A_{max} = 220$ м, $A_{min} = 180$ м) и по ним вычисляют:

а) абсолютную высоту средней плоскости земной поверхности (рис.3):

$$A_{cp} = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} = \frac{220 + 180}{2} = 200 \text{ м.}$$

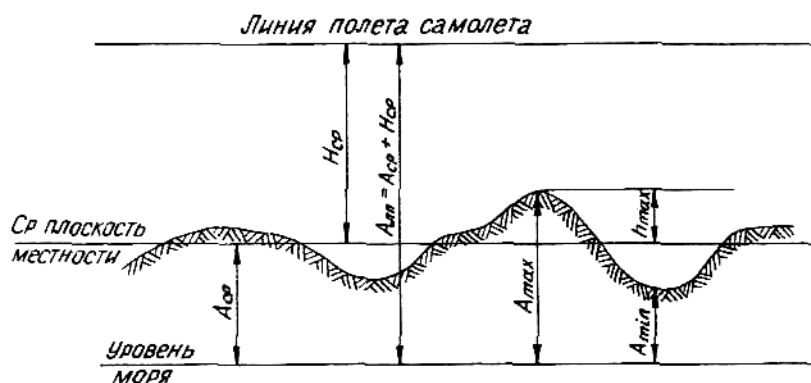


Рис. 3

б) среднюю высоту фотографирования (H_{cp}) над средней плоскостью участка определяют по формуле:

$$H_{cp} = f \cdot m = 0,1 \text{ м} \cdot 10000 = 1000 \text{ м}$$

в) абсолютную высоту фотографирования (линии полета $A_{л.п}$) определяют по формуле:

$$A_{л.п} = A_{cp} + H_{cp} = 200 \text{ м} + 1000 \text{ м} = 1200 \text{ м}$$

г) максимальное колебание рельефа (h_{max}) над средней плоскостью снимаемого участка земной поверхности определяют по формуле:

$$h_{max} = A_{max} - A_{cp} = A_{cp} - A_{min} = 220 \text{ м} - 200 \text{ м} = 200 \text{ м} - 180 \text{ м} = 20 \text{ м}$$

3.2. Расчет перекрытия аэроснимков

Продольное (P_x) и поперечное (P_y) перекрытия снимков вычисляют в процентах по формулам:

$$P_x = (56 - 62) + 50 \frac{h_{max}}{H_{cp}}, \%$$

$$P_y = (20 - 34) + 50 \frac{h_{max}}{H_{cp}}, \%$$

В нашем примере они заданы: $P_x = 60 \%$; $P_y = 30 \%$. Необходимо вычислить величину перекрытий в линейной мере:

- продольное перекрытие: $a_x = \frac{1 \cdot P_x}{100} = \frac{30 \cdot 60}{100} = 18 \text{ см};$

- поперечное перекрытие: $a_y = \frac{1 \cdot P_y}{100} = \frac{30 \cdot 30}{100} = 9 \text{ см}.$

3.3. Расчет базисов фотографирования

Базисы фотографирования в масштабе аэроснимка рассчитывают по формулам:

- продольный базис:

$$b_x = 1 - a_x = \frac{1 \cdot (100 - P_x)}{100} = 30 - 18 = \frac{30 \cdot (100 - 60)}{100} = 12 \text{ см}$$

- поперечный базис:

$$b_y = 1 - a_y = \frac{1 \cdot (100 - P_y)}{100} = 30 - 9 = \frac{30 \cdot (100 - 30)}{100} = 21 \text{ см}$$

Величину базисов фотографирования на местности вычисляют по формулам:

- продольный базис: $B_x = b_x \cdot m = 0,12 \text{ м} \cdot 10000 = 1200 \text{ м};$

- поперечный базис: $B_y = b_y \cdot m = 0,21 \text{ м} \cdot 10000 = 2100 \text{ м}.$

3.4. Расчет количества маршрутов производится по формуле:

$$n_m = \frac{L_y}{B_y} + 1 = \frac{30}{2,1} + 1 = 14,3 + 1 \approx 15$$

где L_y – протяженность участка по меридиану, км;
 B_y – базис фотографирования на местности, км.

Для обеспечения южной и северной границ участка количество маршрутов увеличивается на один (в формуле +1).

3.5. Расчет количества АФСн :

а) Число АФСн в маршруте зависит от его длины (L_x) и величины продольного базиса (B_x):

$$n = \frac{L_x}{B_x} + 2 = \frac{50}{1,2} + 2 = 41,7 + 2 = 43,7 \approx 44 \text{ шт.}$$

Центры крайних снимков маршрута должны быть вне рамок снимаемого участка, в связи с чем количество снимков в маршруте увеличивается на два (в формуле соответственно + 2).

б) Общее число снимков на участок вычисляется по формуле:

$$N = n_m \cdot n \cdot K = 44 \cdot 15 \cdot 1,1 = 726 \text{ шт.},$$

где n_m - количество маршрутов;

n - количество снимков в маршруте;

K - коэффициент увеличения количества снимков за различные ошибки, равный 1,1 для равнинной местности и 1,15 - для горной.

в) Количество аэрофотопленки, необходимое для съемки всей площади участка вычисляется по формулам:

$$L_{пл} = (l + 1 \text{ см}) \cdot N + 4 \text{ м} = 31 \text{ см} \cdot 726 + 4 \text{ м} = 0,31 \text{ м} \cdot 726 + 4 \text{ м} = 229 \text{ м}$$

где 1 см - величина промежутка между кадрами;

4 м - технические отходы, т.е. концы для зарядки кассет и в проявительный прибор.

3.6. Расчет площади, покрываемой аэроснимком.

Площадь земной поверхности, покрываемая аэроснимком, равна:

$$S = (l \cdot m)^2 = (0,3 \cdot 10000)^2 = 9\,000\,000 \text{ м}^2 = 900 \text{ га},$$

где l - размер стороны аэроснимка;

m - знаменатель масштаба аэроснимка.

3.7. Расчет времени, необходимого для аэрофотосъемки.

а) Величина экспозиции t_z (выдержка, исключая появление недопустимого смаза изображения) вычисляется исходя из величины допустимого смаза, скорости полета и масштаба съемки:

$$t_z = \frac{d \cdot m}{U} = \frac{d \cdot H_{cp}}{f_k \cdot U} = \frac{0,0001 \text{ м} \cdot 10000 \cdot 3600 \text{ с}}{150\,000 \text{ м}} = 0,024 \approx 0,02 \text{ с}$$

где H_{cp} - высота фотографирования;
 f_k - фокусное расстояние объектива;
 δ - величина смаза за время выдержки;
 U - скорость полета самолета.

Допустимая величина смаза δ должна быть не более 0,2 мм.

б) Интервал между экспозициями t рассчитывают с учетом продольного базиса аэро-съемки (B_x) и скорости полета самолета (U):

$$t = \frac{B_x}{U} = \frac{1200 \text{ м} \cdot 3600 \text{ с}}{150\,000 \text{ м}} = 28,8 \text{ с}$$

в) Время, необходимое для аэрофотосъемки всего участка, рассчитывают по формуле:

$$T = N(t + t_s) \cong \frac{n_m(L_x + 2B_x)}{U} = 726 \cdot (28,8 + 0,02) \cong \frac{15 \cdot (50 + 2,4)}{150} = 5,81...5,24 \text{ ч},$$

где n_m - число маршрутов;
 L_x - длина участка по параллели;
 B_x - базис съемки на местности;
 U - путевая скорость.

3.8. Составление проекта аэрофотосъемки

Выполненные расчеты служат основой для составления графического рабочего проекта аэрофотосъемки по заданным маршрутам:

а) На топографическую карту (восковку) наносят оси маршрутов аэросъемки. Ось первого маршрута располагают вблизи северной рамки участка таким образом, чтобы примерно треть площади аэроснимков выходила за его границу. Последующие маршруты наносят параллельно первому с расстояниями между ними, равными поперечному базису фотографирования B_y в масштабе топоосновы.

б) На маршрутах наносят центры аэроснимков в соответствии с B_x с учетом масштаба топоосновы. Центр первого снимка располагают за западной рамкой участка на расстоянии одного базиса фотографирования от нее.

в) На двух смежных маршрутах аэрофотосъемки показывают расположение четырех перекрывающихся снимков в масштабе карты (по 2 снимка на маршруте). Продольные перекрытия для этих снимков показывают штриховкой, а поперечные перекрытия всех маршрутов показывают фоновой окраской (рис.4).

Схема аэрофотосъемки

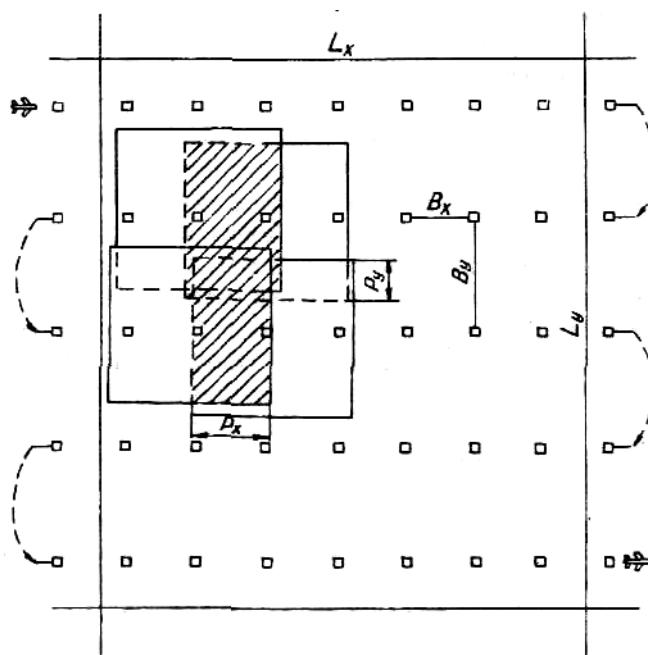


Рис. 4

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Накидной монтаж. Оценка качества аэрофотосъемки. Ограничение рабочей площади АФСн

4.1 Составление накидного монтажа

Цель задания: знакомство с АФСн (формат, нумерация, назначение изображения уровня, времени и даты фотографирования, координатных меток), техникой выполнения накидного монтажа, получения с него репродукций.

При фотографировании значительного участка местности получают ряд АФСн с таким расчетом, чтобы не менее 2-х соседних снимков перекрывались между собой. Ряд взаимно перекрывающихся АФСн в направлении полета составляет маршрут АФС. Перекрывание между снимками одного маршрута называется *продольным*, а между снимками смежных маршрутов — *поперечным*.

Прежде чем приступить к монтажу АФСн, их раскладывают по маршрутам.

Накидной монтаж — есть монтирование (накидывание) АФСн в один общий план по идентичной ситуации методом "мелькания", т.е. совмещения ситуации на каждых 2-х соседних АФСн.

Начинают монтаж с северного маршрута и каждый маршрут монтируют с восточного края, накладывая левый снимок на правый. При такой раскладке номера снимков не закрываются.

После укладки 1-го маршрута укладывают 2-ой и т.д. маршруты. При этом следят, чтобы одинаковые контуры на АФСн 2-го маршрута совпадали не только с контурами соседних АФСн, но и с подобными контурами на АФСн соседних маршрутов.

Для предохранения от случайных сдвигов АФСн при монтаже их закрепляют скрепками, грузиками, кнопками и т.д.

Монтаж, как правило, заканчивают изготовлением его фотографий, т.е. репродукций накидного монтажа, которые используются для уточнения категории трудности местности, объема съемочных работ, других практических вопросов.

4.2. Оценка качества материалов АФС

Оценку качества материалов АФС производят по накидному монтажу. Оценке качества подлежат 14-16 АФСн двух перекрывающихся маршрутов АФС.

Основным критерием качества залета является соблюдение технических условий АФС:

а) высота полета над средней плоскостью снимаемого участка не должна отличаться от заданной высоты более, чем на 3 – 5 %;

б) продольное перекрытие АФСн должно быть более 56%;

в) поперечное перекрытие АФСн должно быть более 20%;

г) непараллельность маршрутов не должна превышать 5%;

д) непрямолинейность маршрутов не должна превышать 2-3%.

Однако качество залета во многом определяется фотокачеством негативов и отпечатков (АФСн). С этого и начинают работу по оценке качества аэрофотосъемки. Результаты оценки записывают в таблицу (табл.4).

4.2.1. Проверка фотографического качества аэроснимков

Фотографическое качество аэроснимков проверяется визуально. При этом необходимо установить:

1) Отсутствие изображения облаков или теней от них, царапин, посторонних пятен, полос или бликов.

2) Четкость проработки деталей.

3) Отсутствие вуали.

Фотографическое качество АФСн оценивается:

отлично - все отпечатки "нормальные", без дефектов;

хорошо - имеются незначительные недостатки, не влияющие на дешифрирование;

удовлетворительно - число отпечатков с дефектами не более 10%.

4.2.2. Определение продольного и поперечного перекрытий

Продольное и поперечное перекрытия определяют по накидному монтажу при помощи фотограмметрической линейки, которая для формата аэроснимков 18х18 см имеет рабочую длину 18 см с наименьшим делением 1 %. При измерении продольного перекрытия индекс линейки 100 совмещают с правым краем правого аэроснимка, а процент продольного перекрытия (с точностью 1 %) отсчитывают по линейке по правому краю левого снимка (рис.5). Поперечные перекрытия двух смежных маршрутов измеряют аналогично (рис.6).

Наименьшие допустимые значения перекрытий аэроснимков:

- продольного $P_x = 56 \%$;

- поперечного $P_y = 20 \%$.

Продольное перекрытие $P_x = \frac{a_x}{l} \cdot 100, \%$

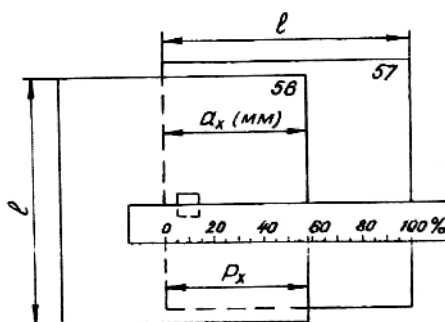


Рис. 5

Поперечное перекрытие $P_y = \frac{a_y}{l} \cdot 100, \%$

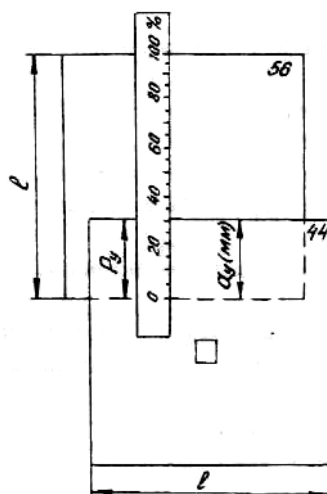


Рис. 6

Продольное и поперечное перекрытия измеряются для каждой пары АФСн на на-
кидном монтаже по маршрутам (вдоль) не менее, чем для 50 % снимков, и между маршру-
тами (поперек) через 4-5 снимков.

Таблица 3

Перекрытия, %		Оценка
Продольные, P_y	Поперечные, P_y	
56-60	28-30	отлично
61-65	22-27	хорошо
66-70	20-21	удовлетворительно

Задача 1. Вычислить линейную величину продольного перекрытия в 40;60 %. Фор-
мат кадра 18х18 см.

$$a_x = l \frac{P_x}{100}; \quad a_{x1} = 18 \frac{40}{100} = 72 \text{ мм}; \quad a_{x2} = 18 \frac{60}{100} = 108 \text{ мм}.$$

Задача 2. Формат кадра 18х18 см. На маршруте измерены:

продольное перекрытие $a_{x \max} = 112 \text{ мм}$, $a_{x \min} = 104 \text{ мм}$;

поперечное перекрытие $a_{y \max} = 65 \text{ мм}$, $a_{y \min} = 50 \text{ мм}$.

Вычислить в % колебание перекрытий.

$a_{x \max} = 62 \%$, $a_{x \min} = 58 \%$; $a_{x \text{ ср}} = 60 \%$. Колебание 2 %.

$a_{y \max} = 36 \%$, $a_{y \min} = 28 \%$, $a_{y \text{ ср}} = 32 \%$. Колебание 4 %.

4 2.3. Определение непрямолинейности маршрутов

Непрямолинейность маршрута Е определяется отношением максимальной стрелки
прогиба ΔL к длине маршрута L и выражается в процентах (рис.7):

$$E = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100, \%$$

Для определения непрямолинейности соединяют координатные метки крайних аэро-
снимков маршрута, измеряют расстояние L между ними и отклонение ΔL горизонтальных

координатных меток наиболее удаленного аэроснимка от прямой L. Значение непрямолинейности не должно превышать 3 %.

Зачастую непрямолинейность маршрута оценивают по отклонениям главных точек АФСн, показывающих фактическую линию полета самолета, от прямой линии, соединяющей главные точки крайних, т.е. первого и последнего АФСн в маршруте. Оценка непрямолинейности маршрута:

отлично - отклонение до 1%;

хорошо - отклонение 1-2 %;

удовлетворительно - отклонение до 3 %.

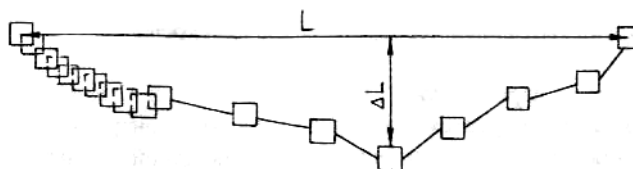


Рис. 7

4.2.4. *Определение непараллельности базиса фотографирования стороне аэроснимка - "елочка"*

Для определения непараллельности базиса стороне аэроснимка монтируют по контурам по два смежных аэроснимка и измеряют транспортиром угол φ , составленный базисом фотографирования (линия, соединяющая главные точки смежных снимков) и линией, параллельной стороне аэроснимка (рис.8). Значения непараллельности не должны превышать 5° .

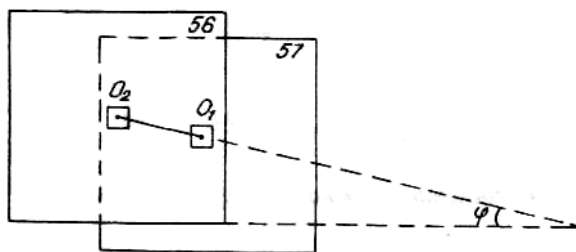


Рис. 8

Оценка по величине угла:

отлично - до 2° ;

хорошо - $2-4^\circ$;

удовлетворительно - до 5° .

4.2.5. *Контроль выравнивания аэропленки в плоскость.*

Выравнивание аэропленки в плоскость в момент фотографирования проверяется по изображениям контрольных нитей, расположенных в плоскости прикладной рамки аэрофотоаппарата.

Контрольные нити на аэроснимках должны быть прямыми линиями. Отклонения от прямой не должно превышать $\pm 0,1$ мм. Величины отклонений измеряют синусной линейкой (рис.9).

КОНТРОЛЬ ВЫРАВНИВАНИЯ

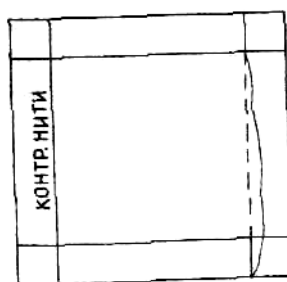


Рис. 9

4.2.6. Определение углов наклона аэроснимков

Углы наклона аэроснимков определяются по отклонению изображения пузырька круглого уровня от нульпункта в его центре (рис.10). Цена деления концентрических окружностей круглого уровня 1° . Углы наклона АФСн не должны превышать 3° .

Угол наклона

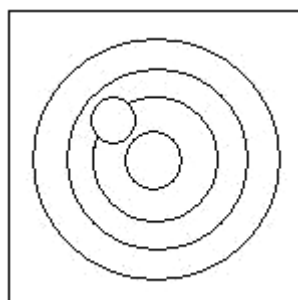


Рис. 10

Таблица 4

Таблица оценки качества аэрофотосъемки
Инв. № 166 (№ 6456-6460, № 7244-7248)

Номера снимков 1 м-т	P_x	Номера снимков 2 м-т	P_y	Непрямолинейность Е	Елочка ϕ	Углы наклона	Фотогр. качество	Общая оценка
6456	66	7244	32	2%	3°	1°	хор.	хор.
57		45	35			1°	хор/у	хор.
58		46	35			0°	удов.	удов.
59		47	36			2°	уд/уд.	удов.
6460		7248	31			1°	хор.	хор.

4.3. Ограничение рабочей площади на аэрофотоснимках

В связи с искажениями на АФСн, особенно в его краевой части, для повышения точности и объективности снимаемой с АФСн информации стремятся использовать его центральную часть, называемую рабочей площадью

Рабочая площадь со всех четырех сторон ограничивается линиями, проведенными посередине продольных и поперечных перекрытий со смежными АФСн (рис.11). Она составляет 25-35 % от площади АФСн. Эта площадь используется для получения плановой сети топокарт, на ней производится разбивка пикетажа, выполняется контурное и специальное дешифрирование. Если АФСн предполагается использовать для измерительного таксационного дешифрирования, то на них, кроме рабочей площади, отмечаются:

- главные точки АФСн - накладываются иглой, а на обратной стороне снимка обводятся кружком и надписываются "О";

- начальные направления и размер базисов - обозначаются по краям лицевой стороны АФСн штрихами длиной 2-3 см. Над каждым штрихом надписывается измеренная величина базисов фотографирования.

- выполняя данное задание, подготавливают АФСн к контурному и специальному дешифрированию.

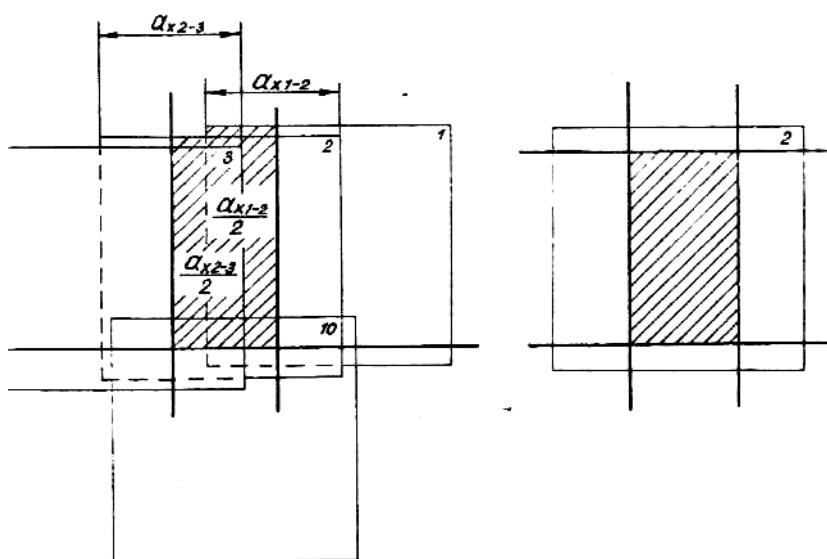


Рис. 11

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

5.1. Основы дешифрирования

Дешифрирование аэрофотоснимков заключается в распознавании фотоизображений объектов местности, определении их характеристик и вычерчивании в принятых условных знаках. При дешифрировании используют прямые или постоянные дешифровочные признаки (форма, размер, тон, структура изображения объектов) и косвенные признаки, которые проявляются во взаимосвязи между объектами (взаимное расположение, зернистость АФСн, тень, цвет и др.) Сочетание этих связей позволяет сделать логические выводы по опознанию объектов.

По назначению дешифрирование разделяют на:

1. Топографическое: опознают, изучают ситуацию и рельеф местности.
2. Специальное, инженерное: опознают и изучают те объекты и элементы местности, которые наиболее важны для решения поставленных задач.

Среди различных методов дешифрирования наиболее быстрым и не дорогостоящим является камеральный метод. Наиболее трудоемким и дорогим - полевой. Сочетание камерального и полевого методов называют комбинированным дешифрированием.

При инженерных изысканиях дешифрирование является одним из наиболее эффективных средств определения топографических, инженерно-геологических, лесотехнических, гидрогеологических и др. характеристик местности.

Наиболее полно можно дешифрировать местность по крупномасштабным снимкам: чем крупнее масштаб, тем больше объектов и их деталей можно определить при дешифрировании.

В процессе дешифрирования широко используют стереоскопическую модель местности, различные оптические измерительные приборы с увеличением до 10 крат. Применение электроники и автоматизации повышает объективность и производительность работ при дешифрировании.

Дешифрирование выполняют в следующем порядке: населенные пункты, объекты социально-промышленного назначения, дорожная сеть, линии связи и электропередач, гидрогеография, растительный покров, грунты, болота.

Характерные черты изображения объектов местности на АФСн:

- а) Населенные пункты - система четырехугольников, линий дорог (улиц), огородов.
- б) Пашня - прямолинейность границ и различная тональность изображения в зависимости от вида посева и времени года.
- в) Железные дороги - перпендикулярность пересечений с автомобильными дорогами. На крупномасштабных снимках видны рельсы, шпалы, мачты электросети и т.д.
- г) Автомобильные дороги - плавность поворотов, своеобразие их сопряжении с другими дорогами.
- д) Грунтовые дороги - светлые извилистые линии, иногда окаймленные черными полосами (канавами).
- е) Линии электропередач и связи - по теням от столбов и мачт, по изображениям опор - пятен, незапаханных участков земли около столбов и мачт. В лесных массивах все ЛЭП и связи имеют прямолинейные просеки.
- ж) Реки - извилистые полосы различной толщины и плотности тона. Ручьи легко выделяются своей извилистостью.
- з) Озера, пруды - однотонные поверхности, ограниченные замкнутыми криволинейными контурами.
- и) Леса, кустарники - резко очерченная зернистая поверхность. Вид кроны у лиственных деревьев округленный, у сосны - зубчатый, у ели и лиственницы - остроконечный.
- к) Границы болот - по степени угнетенности деревьев в лесном массиве.
- л) Рельеф местности - по характеру изображения гидросети, по тени и степени освещенности склонов.
- м) Пункты опорной геодезической сети - по конфигурации отчужденного для них участка земли, по виду пункта и его тени.

Камеральное топографическое дешифрирование АФСн выполняют с использованием топографических карт масштабов 1:10000 - 1:25000. Результаты дешифрирования вычерчивают на восковке, наложенной на АФСн. Необходимые числовые характеристики объектов и пояснительные подписи берут с топографической карты. Пример оформления результатов дешифрирования дан на рис. 12.

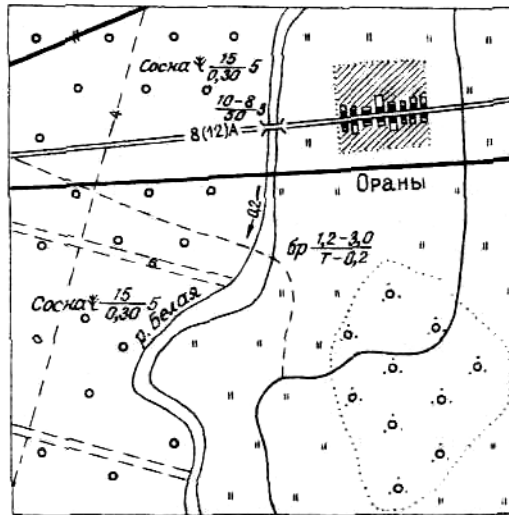


Рис. 12

5.2. Привязка АФСн к топографической карте. Графические способы переноса информации с АФСн на топографическую карту

В основе переноса информации с АФСн на карту лежит главным образом опознавание (определение) главной точки АФСн на карте. Для переноса информации с АФСн на карту используются 2 группы методов:

- а) Фотограмметрические или графические методы, наиболее доступные и простые.
- б) Стерефотограмметрические методы с использованием оптических приборов.

5.2.а. Графические методы переноса информации с АФСн на карту.

1. Непосредственное опознавание главной точки АФСн на карте

Привязка АФСн к топографической карте осуществляется определением его главной точки на карте.

Если главная точка АФСн совпадает с каким-либо характерным контуром топографической карты, то ее местоположение на карте определяется непосредственным опознаванием. Если главная точка непосредственно не опознается, а вблизи нее в пределах кружка радиусом $f_x : 40$, где f_x - фокусное расстояние аэрокамеры, имеется хорошо опознаваемая контурная точка - центральная точка, то привязка аэроснимка к топокарте производится путем опознавания этой центральной точки.

2. Привязка аэроснимка способом обратной засечки

На аэроснимке и топографической карте выбирают четыре общие четкие контурные точки: А, В, С, Д и а, в, с, d (рис.13). Затем накладывают на аэрофотоснимок восковку, куда переносят главную точку аэроснимка "О" и выбранные контурные точки А, В, С, Д. Из главной точки на восковке прочерчивают линии через все контурные точки: ОА, ОВ, ОС, ОД (рис. 13, а). Далее восковку накладывают на топографическую карту так, чтобы прочерченные направления ОА, ОВ, ОС, ОД прошли через соответствующие точки карты (а, в, с, d) (рис.13, б). Точку "О" перекалывают с восковки на топокарту. По топографической карте определяют прямоугольные координаты этой точки и высоту X_0 , Y_0 , H_0 записывают в бланке. Для лучшей формы засечки расположение точек А, В, С, Д должно быть таким, чтобы прямые ОА, ОВ, ОС, ОД пересекались под углом не менее 30° и не более 120° .

Точки А, В, С, Д должны находиться не ближе 30 мм от главной точки "О" и 10 мм от краев аэроснимка.

Схема засечки

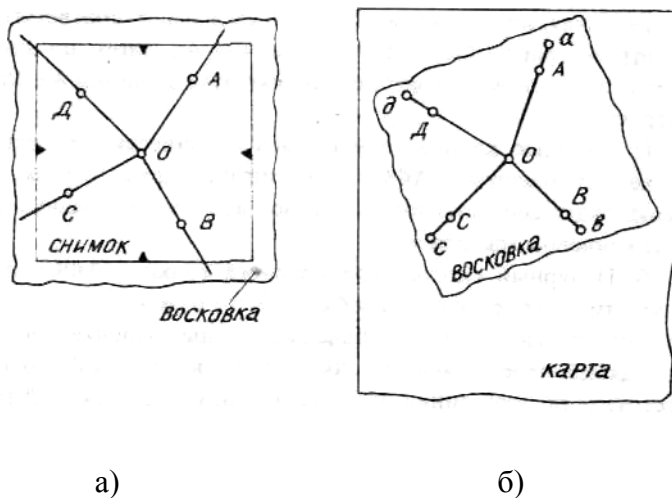


Рис. 13

3. Перенос точек и контуров с АФСн на карту с помощью клинового масштаба

Этот способ наиболее универсален. Он находит достаточно широкое применение, поскольку позволяет без особых осложнений переносить любую информацию с АФСн на карту. В различных литературных источниках он носит, названия:

- а) графический способ;
- б) полярный способ;
- в) способ линейных засечек.

Общее у этих способов одно: использование клинового масштаба.

а) Графический способ.

Для построения клинового масштаба выбирают на АФСн две четкие контурные точки (А, С) на линии, проходящей примерно через главную точку АФСн, расположенные симметрично относительно нее. Затем опознают соответствующие им точки на карте (а,с).

На листе бумаги откладывают отрезок АФСн (АС), а перпендикулярно к нему в т."С" откладывают соответствующий ему отрезок карты (ас). Проводят линию Аа, затем по линии АС через 1 см восстанавливают перпендикуляры до линии Аа. Масштаб построен (рис. 14).

С помощью клинового масштаба графически осуществляется переход от масштаба АФСн к масштабу карты: отрезку АВ на снимке будет соответствовать отрезок ав на карте, равный отрезку Вв на клиновом масштабе.

б) Полярный способ.

Для переноса точки с АФСн на карту полярным способом необходимо отложить на карте горизонтальный угол от начального направления до линии, проходящей через главную точку снимка и переносимую точку, и расстояние во этой линии от главной точки снимка до искомой точки на карте.

За начальное направление принимают линию, проведенную из гл.т. снимка "о" до любой, четко опознаваемой точки на АФСн и карте. Например ОС.

На АФСн намечают точку $P_{сн}$, которую необходимо перенести на карту. Все эти точки (О, С, $P_{сн}$) перекалывают на восковку.

С помощью клинового масштаба определяют расстояние на карте от гл.т. снимка до искомой точки P_k .

Для этого на горизонтальной линии клинового масштаба от т. А откладывают величину отрезка $OP_{\text{сн}}$, который берут с АФСн. Этому расстоянию на снимке соответствует отрезок OP на карте, который берут с клинового масштаба и откладывают на восковке на соответствующем направлении $OP_{\text{сн}}$. Восковку накладывают на топокарту, совмещая гл.т. "О" и начальное направление ОС. Перекалывают точку P_k с восковки на топокарту.

Практические для переноса точки с аэроснимка на топокарту лист восковки накладывают на аэроснимок. Перекалывают на восковку главную точку "О", начальное направление и точку, которую необходимо перенести ($P_{\text{сн}}$). Из точки "О" проводят на восковке линию через точку $P_{\text{сн}}$ (рис.15).

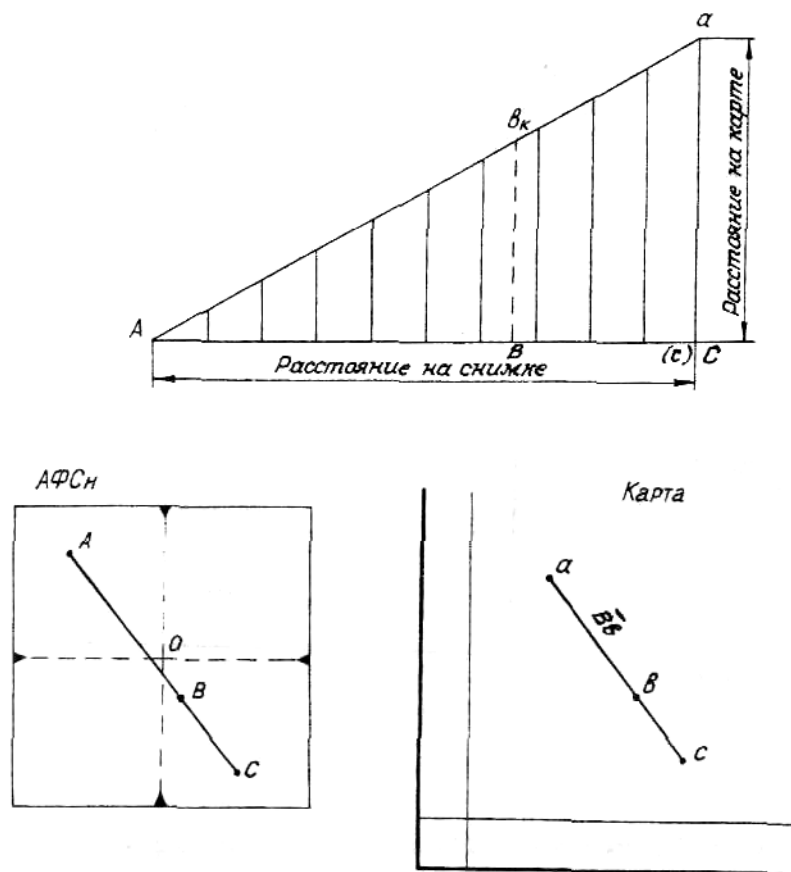


Рис. 14

По клиновому масштабу определяют длину отрезка OP_k который должен быть отложен на карте по линии $OP_{\text{сн}}$. Отмечают на линии точку P_k . Далее восковку перекалывают на топокарту, совмещая точку "О" и начальное направление ОС. Перекалывают точку P_k с восковки на топокарту. Таким же образом переносят со снимка на топокарту и другие объекты.

в) Способ линейных засечек.

Для переноса точки $P_{\text{сн}}$ с АФСн на карту способом линейных засечек выбирают общие контурные точки $M_{\text{сн}}$ и $N_{\text{сн}}$ на АФСн и " m_k и n_k " на топокарте (рис. 16).

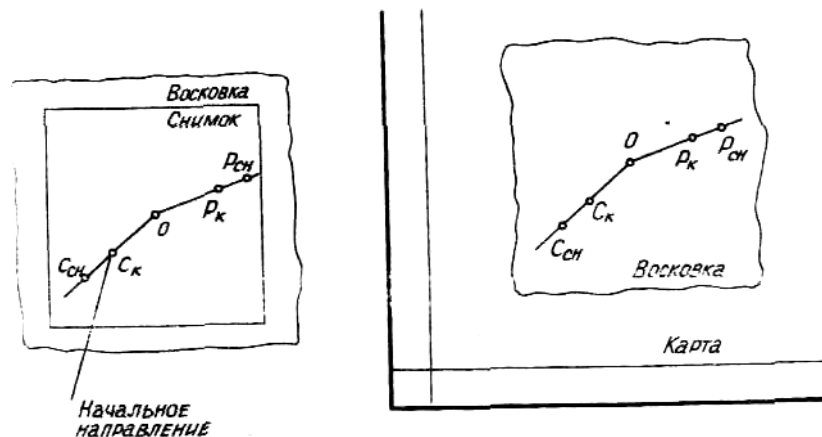


Рис. 15 Перенос точки с АФСн на топографическую карту полярным методом

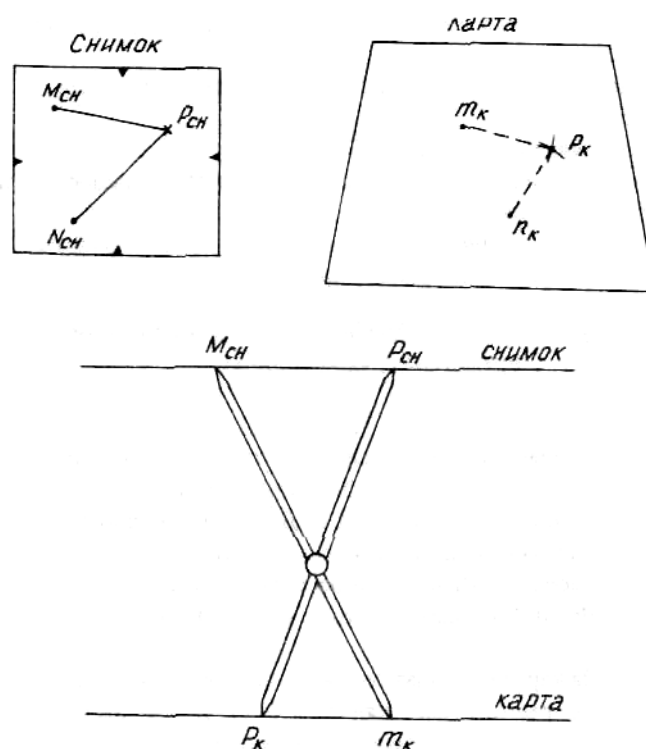


Рис. 16 Перенос точек с АФСн на топокарту способом линейных засечек

Измеряют на АФСн расстояния $MP_{сн}$ и $NP_{сн}$. Откладывают их на соответствующей оси клинового масштаба, а по второй оси масштаба находят длины отрезков " $mp_к$ и $np_к$ ", соответствующие расстояниям на карте.

Из точек " $m_к$ и $n_к$ " на карте циркулем отрезками " $mp_к$ " и " $np_к$ " проводят дуги, в пересечении которых получают положение точки $P_к$ на карте.

По топокарте определяют прямоугольные координаты X_p , Y_p , H_p этой точки.

Аналогично определяют положение на карте и других объектов.

Способ линейных засечек используют в том случае, когда сфотографированная местность содержит большое количество контурных точек.

Вместо клинового масштаба для работы можно воспользоваться пропорциональным циркулем.

4. Перенос точек с АФСн на топокарту способом прямоугольных координат

Применяется этот способ при перенесении большого количества точек равнинной местности по координатной сетке, перенесенной с карты на АФСн. Для этого можно воспользоваться любым из рассмотренных выше способов:

а) Переносят главную точку с АФСн ($O_{сн}$) на карту (O_k).

б) На АФСн и карте находят общую точку соответственно $A_{сн}$ и a_k .

в) На карте проводят окружность с центром в главной точке O_k радиусом, равным расстоянию $O_k a_k$ т.е. расстоянию между главной точкой АФСн, перенесенной на карту (O_k), и общей точкой на карте (a_k) и АФСн.

Эта окружность пересечет линии координатной сетки на карте в точках 1,2,3...10 (рис.17).

г) На карту накладывают восковку. Наносят на нее главную точку АФСн (O_k) и из нее прочерчивают линии на контурную точку (a_k) и точки пересечения окружности с линиями координатной сетки (1,2,3-10).

д) На АФСн аналогично проводят окружность с центром в главной точке АФСн ($O_{сн}$) радиусом $O_{сн} A_{сн}$ с центром в главной точке $O_{сн}$ АФСн.

е) Накладывают кальку на АФСн. Ориентируют ее по исходному направлению $O_{сн} A_{сн}$ с центром в главной точке $O_{сн}$ АФСн.

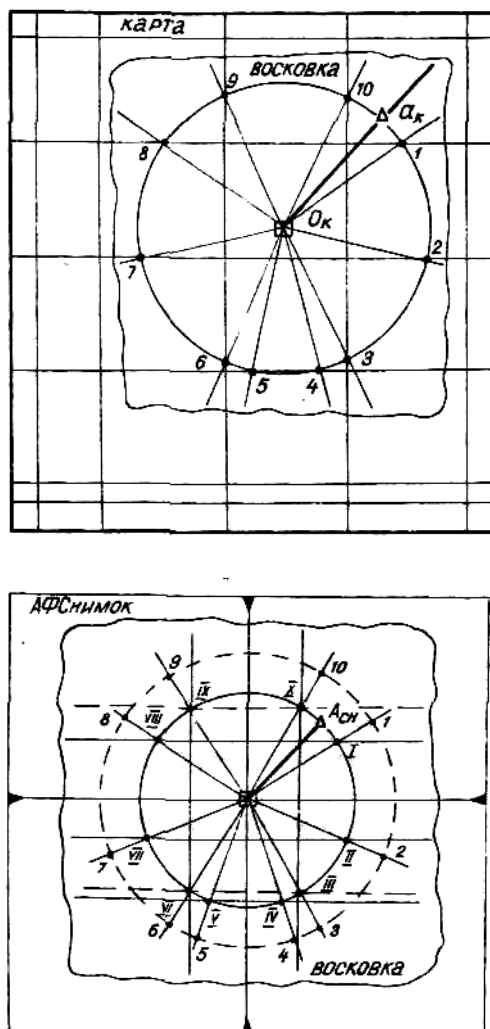


Рис. 17

ж) Отмечают на кальке точки пересечения окружности, проведенной на АФСн, с направлениями, проведенными из главной точки АФСн (на кальке) на карте через пересечения линий координатной сетки ($1^x, 2^x, 3^x$ и т.д.).

з) Соединяют линиями соответствующие точки между собой (1^x-8 ; 3^x-10 и т.д.). Получают координатную сетку на АФСн.

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение горизонтальных масштабов АФСн и высоты фотографирования

Существует несколько способов определения горизонтальных масштабов АФСн:

- а) По отношению f фокусного расстояния АФА и высоты H фотографирования.
- б) По соотношению длины линий на АФСн и на топокарте.
- в) По соотношению длины линий на АФСн и на местности.

При этом определяют продольный (вдоль маршрута), поперечный (поперек маршрута) и средний горизонтальные масштабы АФСн.

6.1. Масштаб горизонтального АФСн

Фотографирование местности при строго отвесном положении оптической оси АФА (линии S_1O) позволяет получить горизонтальный, плановый снимок (рис. 1). Принято считать, что при отклонении оптической оси S_1O АФА относительно вертикали на угол α не более 3° получают плановый снимок, а при $\alpha > 3^\circ$ - перспективный снимок.

Для картографических целей используется плановая АФС, т.е. $\alpha < 3^\circ$.

Из рис. 1 следует, что масштаб горизонтального снимка местности равен:

$$\frac{l}{m_{\text{сн}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{L_{\text{м}}} = \frac{oS}{OS} = \frac{f}{H}, \quad \text{т.е.} \quad \frac{l}{m_{\text{сн}}} = \frac{f}{H}$$

Отсюда высота фотографирования:

$$H = f \cdot m_{\text{сн}}$$

Площадь местности, сфотографированной на одном АФСн:

$$S = L_{\text{м}}^2 = (l_{\text{сн}} \cdot m_{\text{сн}})^2$$

Пример 1. Определить среднюю высоту фотографирования $H_{\text{ср}}$ и площадь местности S , сфотографированной на одном АФСн, если фокусное расстояние АФА $f = 101$ мм, размер АФСн $1 \times 1 = 18$ см \times 18 см, масштаб съемки 1:7000.

$$1) \quad H_{\text{ср}} = f \cdot m_{\text{сн}} = 0,101 \text{ м} \cdot 7000 = 707 \text{ м}$$

$$2) \quad L_{\text{м}} = l_{\text{сн}} \cdot m_{\text{сн}} = 0,18 \text{ м} \cdot 7000 = 1260 \text{ м}$$

$$S = L_{\text{м}}^2 = 1,26^2 \text{ км} = 1,59 \text{ км}^2 = 159 \text{ га}$$

Пример 2. Два АФСн размером 18 x 18 см получены с одинаковой высоты $H_1 = H_2$, но двумя АФА с $f_1 = 101$ мм и $f_2 = 70$ мм. Определить углы поля изображения обоих АФА, H и S , если масштаб первого АФСн 1:7000.

1) Диагональ АФСн

$$l_{\text{д}} = \sqrt{18^2 + 18^2} = 25,5 \text{ см};$$

Углы поля изображения:

$$\text{tg } \beta = \frac{l_{\text{д}}}{z f};$$

$$\beta_1 = 51^\circ 40'; \quad \beta_2 = 59^\circ 12'; \quad z\beta_1 = 103^\circ 20'; \quad z\beta_2 = 118^\circ 24';$$

$$2) \quad H_1 = H_2 = f_1 \cdot m_1 = 0,101 \text{ м} \cdot 7000 = 707 \text{ м};$$

$$\frac{1}{m_2} = \frac{H_2}{f_2} = \frac{707 \text{ м}}{0,070 \text{ м}} = \frac{1}{10100},$$

$$3) S_1 = (l \cdot m_1)^2 = 1,59 \text{ км}^2 = 159 \text{ га}; \quad S_2 = (l \cdot m_2)^2 = 3,305 \text{ км}^2 = 330,5 \text{ га}$$

6.2. *Определение горизонтального масштаба АФСн по соотношению длины линий на снимке ($l_{\text{сн}}$) и на топокарте (l_k)*

Выбирают идентичные точки на АФСн и топокарте, измеряют расстояния между этими точками на АФСн ($l_{\text{сн}}$) и карте (l_k). Масштаб АФСн равен:

$$\frac{1}{m_{\text{сн}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{l_k \cdot m_k},$$

где $l_{\text{сн}}$ – расстояние между точками на АФСн;

l_k – расстояние между точками на карте;

m_k – знаменатель масштаба карты.

Пример. Масштаб топокарты 1: 10 000.

а) Продольный масштаб АФСн:

расстояние между двумя точками на карте $l_k = 175 \text{ мм}$,

расстояние между двумя точками на АФСн $l_{\text{сн}} = 85 \text{ мм}$.

Масштаб АФСн:

$$\frac{1}{m_{\text{сн}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{l_k \cdot m_k} = \frac{85 \text{ мм}}{175 \text{ мм} \cdot 10\,000} = \frac{1}{20588} \cong \frac{1}{20000}.$$

б) Поперечный масштаб АФСн:

расстояние между двумя точками на карте $l_k = 113 \text{ мм}$,

расстояние между двумя точками на АФСн $l_{\text{сн}} = 52 \text{ мм}$.

$$\frac{1}{m_{\text{сн}}} = \frac{52}{113 \cdot 10\,000} = \frac{1}{21730} \cong \frac{1}{22000}.$$

в) Определение разномасштабности АФСн. Разномасштабность АФСн возникает из-за:

- изменения высоты фотографирования;
- отклонения оптической оси АФА от вертикали;
- рельефа местности.

Разномасштабность определяется как разность длин идентичных отрезков на двух смежных АФСн.

Во избежании влияния искажений из-за рельефа местности отрезки должны быть выбраны на АФСн в зоне продольного (поперечного) перекрытия примерно перпендикулярно базисам АФСн.

Для этого в средней части зоны перекрытия (продольного или поперечного) на 2-х АФСн по обе стороны от базисов (продольного и поперечного) выбирают 4 хорошо заметные идентичные точки так, чтобы линии, соединяющие их попарно, были примерно перпендикулярны базисам, а точки находились бы примерно на равных расстояниях от базисов.

Измеряют расстояние l_1 между точками 1_1-2_1 на первом снимке и расстояние l_2 между точками 1_2-2_2 на втором перекрывающемся снимке.

Разномасштабность АФСн между смежными снимками одного маршрута или между перекрывающимися АФСн соседних маршрутов определится из выражения:

$$\Delta m = \frac{(l_1 - l_2)}{l_1} \cdot 100.$$

Знак Δm не имеет значения. Разномасштабность определяют в горизонтальном направлении (вдоль маршрутов "восток-запад") и в вертикальном направлении (поперек маршрутов "юг-север"). Оценка разномасштабности: отлично - до 1%; хорошо - до 2%; удовлетворительно - до 3 %.

Разномасштабность АФСн (поперечная):

линия (4-5): снимок 1057..... $l_1 = 65$ мм

снимок 1056..... $l_2 = 66$ мм

$$\Delta m = \frac{l_1 - l_2}{l_1} 100\% = \frac{65 - 66}{65} \cdot 100 = 1,53 \%$$

Линия (4-6): снимок 1057..... $l_1 = 155$ мм

снимок 1056..... $l_2 = 155$ мм

$$\Delta m = \frac{155 - 155}{155} \cdot 100 = 0 \%$$

6.3. Определение среднего горизонтального масштаба АФСн и средней высоты фотографирования

Наклон АФСн и рельеф местности влияют на положение точек земной поверхности на АФСн. Это отражается на масштабе АФСн в разных направлениях он будет разным (за исключением горизонталей, проходящих через точку нулевых искажений).

Поэтому при работе с АФСн определяют их средний масштаб. Для этого на топографической карте (на местности) и на АФСн опознают 4 идентичные точки. Их желательно выбирать на АФСн в диаметрально противоположных его углах. Линии, соединяющие эти точки попарно, должны проходить как можно больше ближе к главной точке АФСн (не далее 2-3 см). Длина частей этих линий должна быть примерно одинаковой по обе стороны от главной точки АФСн. Допустимое отклонение в длинах отрезков не более 2-3 см (рис.18).

Опознав на топокарте (а, в, с, d) выбранные на АФСн точки (А, В, С, D), измеряют расстояния между ними, соответственно на АФСн и топокарте, с помощью измерителя и масштабной линейки с погрешностью не более $\pm 0,2$ мм.

Масштаб АФСн определится как отношение длины этих линий на АФСн к их длине на топокарте с учетом ее масштаба:

$$\frac{1}{m_{\text{сн}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{l_k \cdot m_k}; \quad \frac{1}{m_1} = \frac{AC}{ac \cdot m_k}; \quad \frac{1}{m_2} = \frac{BD}{bd \cdot m_k},$$

где $l_{\text{сн}}$ - длина отрезков на АФСн (AC,BD);

l_k - длина этих же отрезков на топокарте (ac,bd);

m_k - знаменатель масштаба карты.

Знаменатель среднего масштаба АФСн определится по среднему значению знаменателей масштабов АФСн:

$$m_{\text{ср}} = (m_1 - m_2) : 2.$$

Отсюда средний масштаб АФСн:

$$\frac{1}{m_{cp}} = 1 : \left(\frac{m_1 + m_2}{2} \right) = \frac{2}{m_1 + m_2}.$$

Отклонение частных значений знаменателей масштабов АФСн не должно превышать:

$$\Delta m_{доп} \leq \frac{2m_k}{l_{cp.сн}} = \frac{4m_k}{AC + BD},$$

$$\text{где } l_{cp.сн} = \frac{AC + BD}{2} = \frac{l_{1сн} + l_{2сн}}{2}.$$

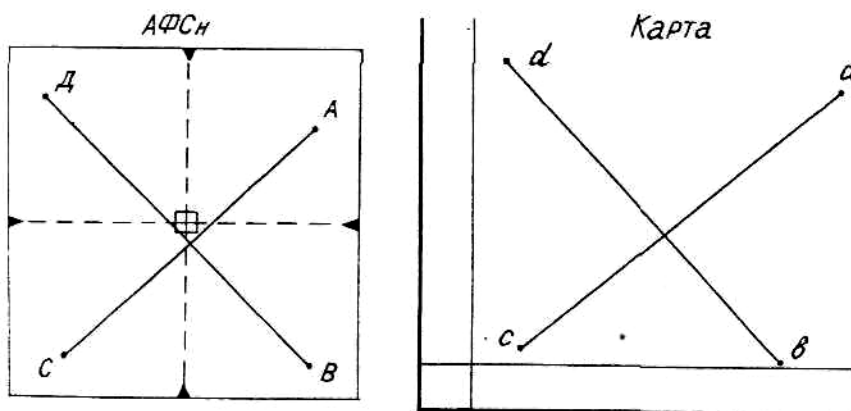


Рис. 18

Среднюю высоту фотографирования в метрах определяют по формуле:

$$H_{cp} = f \cdot \frac{l_k \cdot m_k}{l_{сн}} \quad \text{или} \quad H_{cp} = f \cdot m_{cp},$$

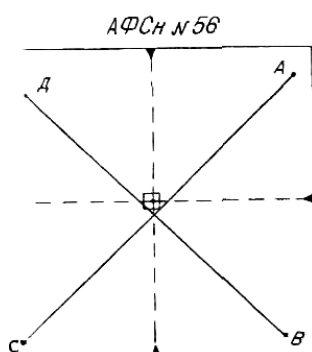
где f - фокусное расстояние АФА, мм;

m_{cp} - среднее значение знаменателя масштаба АФСн.

Вычисления выполняются на специальном бланке.

Определение среднего горизонтального масштаба АФСн и высоты фотографирования

Исходные данные.



Лист карты №.....

Масштаб карты $1 : m_k = 1 : 10\,000$

Фокусное расстояние АФА $f = 100$ мм

Измерение длины отрезков:

На АФСн

На карте

$$AC = l_{1\text{сн}} = 144 \text{ мм};$$
$$BD = l_{2\text{сн}} = 134 \text{ мм};$$

$$ac = l_{1\text{k}} = 191 \text{ мм};$$
$$bd = l_{2\text{k}} = 178 \text{ мм}.$$

$$\text{Масштаб АФСн} \quad \frac{1}{m_{\text{сн}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{l_{\text{k}} \cdot m_{\text{k}}}; \quad \text{Знаменатель масштаба АФСн} \quad m_{\text{сн}} = m_{\text{k}} \frac{l_{\text{k}}}{l_{\text{сн}}}$$

$$m_1 = 13264;$$

$$m_2 = 13284;$$

$$\Delta m = m_2 - m_1 = 20;$$

$$\Delta m_{\text{доп}} = \frac{2m_{\text{k}}}{l_{\text{ср}}} = \frac{4m_{\text{k}}}{l_1 + l_2} = 143;$$

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_1 + m_2}{2} = 13274;$$

$$\frac{1}{m_{\text{ср}}} = \frac{1}{13274}.$$

Высота фотографирования:

$$H_{\text{ср}} = f \cdot m_{\text{ср}} = 100 \text{ мм} \cdot 13274 = 1327,4 \text{ м}.$$

6.4. *Определение горизонтального масштаба АФСн по соотношению длины линий на снимке и на местности*

Подбирают 2 хорошо заметные точки на АФСн, измеряют расстояние между ними ($l_{\text{сн}}$) с точностью до 0,01 см. Затем опознают эти же точки на местности и тоже измеряют расстояние (L) между ними. Масштаб АФСн равен:

$$\frac{1}{m_{\text{сн}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{L_{\text{м}}} = \frac{l_{\text{сн}}}{l_{\text{k}} \cdot m_{\text{k}}}.$$

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Стереоскопическая модель местности.

Глазомерно-стереоскопическое наблюдение АФСн, измерение модели объекта

Цель:

- 1) Опознать объекты в натуре, определить их изометрические и физические параметры, свойства.
- 2) Получить стереоэффект невооруженными глазами.
- 3) Освоить работу со стереоскопом ЗЛС: получить прямой (правильный), обратный и нулевой стереоэффект.
- 4) Определить вертикальный масштаб АФСн.
- 5) Определить высоту объектов (деревьев), изображенных на АФСн.

Исходные данные: стереопара АФСн, стереоскоп ЗЛС.

Выполнение.

7.1. В пределах площади АФСн (лучше в пределах рабочей площади АФСн) опознать объекты в натуре, попытаться определить их геометрические и физические параметры.

7.2. Для получения стереоэффекта невооруженным глазом: -расположить АФСн перекрывающимися частями друг к другу;
 расстояние между центрами АФСн должно быть равно главному базису (65-70 мм);
 -поднести оба АФСн к глазам до полного наложения изображений и удалить одновременно на расстояние лучшего зрения (250 мм): должен быть получен прямой стереоэффект.

7.3. Для получения стереоэффекта с помощью зеркально-линзового стереоскопа ЗЛС стереопару АФСн укладывают под стереоскоп на расстоянии 3-5 см друг от друга и, взаимно перемещая и разворачивая АФСн, добиваются оптического совмещения идентичных контуров левого и правого снимков.

7.3.1. Основные приемы получения прямого стереоэффекта (рис. 19):

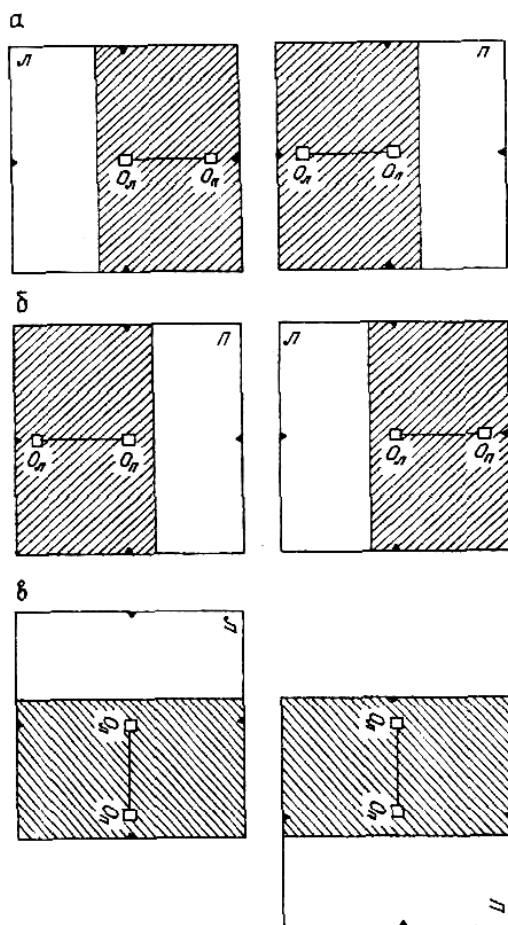


Рис. 19

- стереопару АФСн располагают под стереоскопом перекрытием внутрь, левый снимок должен быть под левым глазом, а правый - под правым;
- АФСн ориентируют так, чтобы их базисная линия, базис стереоскопа и базис глаз (зрения) были параллельны между собой, расстояние между центрами снимков должно примерно равняться величине базиса стереоскопа, а расстояние между внутренними краями снимков 3-5 см;
- в площади перекрытия выбирают характерную точку, общую для обоих снимков;
- пальцем правой руки закрывают эту точку на правом снимке, а пальцем левой руки - на левом;
- в паре малых зеркал стереоскопа увидеть оба пальца и, перемещая их вместе со снимками, слить пальцы в одно изображение;

- убрать пальцы, незначительным перемещением снимков как можно точнее совместить изображение выбранных характерных точек будет получена стереоскопическая модель местности, где элементы рельефа соответствуют действительным.

7.3.2. Для получения обратного стереоэффекта используют описанные выше приемы, но левый снимок располагают под правым глазом, а правый - под левым глазом. Перекрывающиеся части снимков при этом должны быть обращены наружу стереопары.

После ориентирования снимков будет получена обратная стереоскопическая модель местности, где элементы рельефа противоположны действительным.

7.3.3 Для получения нулевого стереоэффекта, т.е. для получения плоского изображения местности, необходимо и достаточно, чтобы базис одного или обоих снимков стереопары был бы направлен перпендикулярно базисам глаз и стереоскопа. Для этого достаточно один или оба снимка стереопары развернуть под стереоскопом вокруг главных точек снимков на 90° в одну или разные стороны по часовой или против хода часовой стрелки и сместить снимки так, чтобы перекрывающиеся части левого и правого снимков рассматривались соответственно левым и правым глазами.

В принципе любая другая ориентировка АФСН под стереоскопом, отличная от их ориентирования для получения прямого и обратного стереоэффекта, не дает стереоэффекта, т.е. даст "нулевой" стереоэффект.

7.4. Определение вертикального масштаба АФСН

7.4.1. По соотношению превышений объекта на стереомодели и на местности:

$$h_c = \frac{S_o}{B_{гл}} ДР; \quad h = \frac{H}{B_{сн}} ДР,$$

где $B_{сн}$ – базис АФСН, м;

S_o – расстояние наилучшего зрения ($S_o = 250$ мм);

$B_{гл}$ – глазной базис ($B_{гл} \approx 65$ мм);

H – высота фотографирования, м;

$ДР$ – разность продольных параллаксов.

Вертикальный масштаб:

$$\frac{l}{m_v} = \frac{h_c}{h} = \frac{S_o \cdot ДР \cdot B_{сн}}{B_{гл} \cdot ДР \cdot H} = \frac{S_o \cdot B_{сн}}{B_{гл} \cdot H}.$$

Если заменить S_o и $B_{гл}$ данными для «среднего человека», то получим:

$$\frac{l}{m_v} = \frac{250}{65} \cdot \frac{B_{сн}}{H} = 3,85 \frac{B_{сн}}{H}.$$

Если в стереоскопах используются увеличивающие линзы, то знаменатель вертикального масштаба m_v необходимо уменьшить на величину "увеличения".

Например, используются линзы с увеличением в 1,4 раза. Следовательно, знаменатель вертикального масштаба будет равен:

$$m_v = \frac{H}{3,85 \cdot 1,4 \cdot B_{сн}} = \frac{H}{5,4 B_{сн}},$$

а вертикальный масштаб при этом увеличивается в 1,4 раза, т.е.

$$\frac{1}{m_v} = 3,85 \cdot 1,4 \frac{B_{\text{сн}}}{H} = 5,4 \frac{B_{\text{сн}}}{H}.$$

Пример. Дано $H = 1100$ м; $B_{\text{сн}} = 70$ мм.

Тогда знаменатель вертикального масштаба:

$$m_v = \frac{H}{3,85 \cdot B_{\text{сн}}} = \frac{1100 \text{ м}}{3,85 \cdot 70 \text{ мм}} \cong 4082,$$

а вертикальный масштаб: $\frac{1}{m_v} = \frac{1}{4082} \cong \frac{1}{4000}.$

Линейная величина вертикального масштаба означает, что каждый миллиметр стереоскопической высоты равен 4 м высоты объекта в натуре.

7.4.2. По коэффициенту деформации "К" стереомодели.

Объекты под стереоскопом чрезвычайно вытянуты, т.к. отношение базиса фотографирования ($B_{\text{сн}}$) к высоте съемки (H) в несколько раз больше отношения глазного базиса ($B_{\text{гл}}$) к расстоянию рассматривания АФСн (S_o).

Величина этого искажения стереомодели определяется коэффициентом деформации "К" стереомодели, который равняется отношению вертикального масштаба к горизонтальному, т.е.

$$K = \frac{1}{m_v} : \frac{1}{m_r} = \frac{m_r}{m_v}; \quad m_v = \frac{m_r}{K}.$$

Поскольку $\frac{1}{m_r} = \frac{f}{H}$ и $\frac{1}{m_v} = \frac{S_o \cdot B_{\text{сн}}}{B_{\text{гл}} \cdot H}$, то

$$K = \frac{S_o \cdot B_{\text{сн}}}{B_{\text{гл}} \cdot H} : \frac{f}{H} = \frac{S_o \cdot B_{\text{сн}}}{B_{\text{гл}} \cdot f} = 3,85 \frac{B_{\text{сн}}}{f}.$$

Пример. Дано $S_o = 250$ мм; $B_{\text{гл}} = 65$ мм; $B_{\text{сн}} = 70$ мм; $f = 110$ мм; $m_r = 10\,000$.

$$\frac{1}{m_v} = \frac{K}{m_r} = 3,85 \frac{B_{\text{сн}}}{f \cdot 10\,000} = 3,85 \frac{70 \text{ мм}}{110 \text{ мм} \cdot 10\,000} = \frac{1}{4082} \cong \frac{1}{4000}.$$

7.5. Определение высоты объектов

7.5.1. Определение высоты объектов по ощущаемой высоте или глубине стереомодели объектов

Высоту в "мм" объекта (дерева) при глазомерно-стереоскопическом наблюдении АФСн можно определить "на глаз" с помощью клинышка миллиметровой бумаги, подставляя и передвигая этот клин так, чтобы его верх был у вершины, а низ - у основания объекта (дерева).

Зная высоту объекта на стереомодели в "мм" и вертикальный масштаб АФСн, можно определить натуральную высоту объекта: $h_o(\text{дерева}) = m_v \cdot n_{\text{мм}}.$

Пример. Если $n = 5$ мм, $m_v = 4000$, то $h_o = 5 \text{ мм} \cdot 4000 = 20 \text{ м}$.

7.5.2. По длине теней от объекта (дерева).

Когда изображение объекта на АФСн слишком мало, для определения высоты объекта используют длину его тени, которая измеряется на АФСн линейкой от центра объекта до вершины его тени:

$$h = l_T \cdot k \cdot n,$$

где l_T – длина тени объекта, мм;

k – коэффициент масштаба, равный 1:10 000 знаменателя горизонтального масштаба АФСн;

n – коэффициент относительной длины тени, равный 1...10 (из табл.168 «Справочника таксатора»).

Пример. $l_T = 5$ мм; $m_r = 1:10\,000$; $k = 1:10\,000$; $n = 4$.

$$h = 5 \cdot \frac{10\,000}{10\,000} \cdot 4 = 20 \text{ м}.$$

7 5.3.Определение высоты объектов по их наклонным проекциям.

Чем объект дальше от центра АФСн, тем смещение его вершины больше и высота определяется точнее:

$$h = \frac{H \cdot \Delta}{r},$$

где H – высота фотографирования, м;

Δ - величина наклонной проекции объекта, мм;

r – расстояние от вершины объекта до главной точки АФСн, мм.

Пример. $H = 1000$ м; $\Delta = 1$ мм; $r = 50$ мм.

$$h = \frac{1000 \cdot 1}{50} = 20 \text{ м}.$$

7.5.4. Определение минимального превышения, воспринимаемого по стереомодели

$$h_{\min} = \frac{H \cdot v_{\text{ст}} \cdot \Delta \rho''}{a_x \cdot U \cdot c''},$$

где H – высота фотографирования, м;

$v_{\text{ст}}$ – главное расстояние (базис) стереоскопа, 250 мм;

$\Delta \rho''$ - острота стереоскопического зрения, $20''$;

a_x – базис фотографирования на снимке для стереопары с продольным перекрытием $P_x = 60\%$; $a_x = l_{\text{сн}} P_x / 100$, мм;

U – увеличение стереоскопа ($\pm 1,4 \dots \pm 7$);

ρ'' - количество секунд в радиане ($206280''$).

Пример. $H = 1999$ м; $v_{\text{ст}} = 250$ мм; $\Delta \rho'' = 20''$; $a_x = 180$ мм; $U = 1$; $\rho = 206280''$.

$$h_{\min} = \frac{1000 \text{ м} \cdot 250 \text{ мм} \cdot 20''}{180 \text{ мм} \cdot 1 \cdot 206280''} = 0,135 \text{ м}.$$

8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Прокладка трассы автомобильной дороги на АФСн

8.1. Из комплекта АФСн подобрать стереопары из одного или из смежных маршрутов аэрофотосъемки, т.е. сделать накидной монтаж АФСн (лаб.раб.№2, например, сн. 1029-1030 и 1057-1058).

8.2. Определить средние горизонтальные масштабы этих АФСн (лаб.раб. №4).

8.3. На АФСн наметить начало трассы (НТ) и конец трассы (КТ).

8.4. Поместить стереопары АФСн с НТ и КТ под стереоскоп (ЗЛС), получить стереоэффект, оценить условия местности и сделать отметки (наколы иглой) на АФСн в местах поворота трассы, т.е. отметить вершины углов поворота трассы ВУП. Условия прокладки трассы:

- а) наиболее короткая;
- б) без водных переходов;
- в) минимум вырубок леса.

8.5. Скопировать трассу на восковку (рис. 19).

8.6. Определить протяженность трассы на АФСн и в натуре.

8.7. Определить высоту ВУП трассы.

8.8. Построить продольный профиль трассы по высотам ВУП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилов П.И., Федоров В.И. Инженерная геодезия и аэрогеодезия. М., Недра, 1971.
2. Борщ-Компанец В. И. Геодезия, основы аэрофотосъемки и маркшейдерского дела. М., Недра, 1984, 448 с.
3. Кучко А.С. Аэрогеодезия при лесоустройстве и лесоинженерных изысканиях; Учебно-методическое пособие. МЛТИ, М., 1978.
4. М.У. к лабораторным работам по курсу "Фотограмметрия" (раздел Аэрофотограмметрия) для студентов специальности 0201 "Маркшейдерское дело". Свердловский горный институт. Составили Блюмин М.А., Свистунов М.К. Свердловск, 1991.
5. Коростелев И.Ф. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве. Екатеринбург, УГЛТА, 1993.